

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300288

研究課題名(和文) 環境調和型機能性材料を活用したマイクロスケール教材開発

研究課題名(英文) Development teaching material of Microscale Chemistry using environmentally-benign materials

研究代表者

高木 由美子 (Takagi, Yumiko)

香川大学・教育学部・教授

研究者番号：50263413

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：新規機能型イオン液体の合成研究を行い、[DEMOmA][FeCl₄]というリード化合物の合成に成功した。イオン液体を含めたさまざまな教材のマイクロスケール化を行って小中高の現場で展開ができるように工夫した。更に開発した教材を国内外のワークショップ(WS)や出張授業にて広報活動や研修事業に展開して、化学に対する啓蒙活動を行った。

研究成果の概要(英文)：The synthesis of novel magnetic Ionic liquids which [DEMOmA][FeCl₄] was the lead compound of high performance of magnetic properties were investigated. We introduced the results of research on students' interest in various aspects of ionic liquids in chemical education. Results were applied inside the classroom as well as to events talking part in the larger local community.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学；科学教育

キーワード：磁性イオン液体 地域貢献 マイクロスケールケミストリー

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

理科離れや、理科基礎科目の学力低下は大学に入学する以前に顕著化している。効果的な中等教育改革を行い、理科好きの生徒の数を増やすと共に、大学の基礎課程終了時まで専門教育を受けるのに必要な気力、学力を養成するために着目したのはマイクロスケール実験である。マイクロスケール実験とは単に実験の規模を小さくしたのではなく、コンセプトそのものをとらえ直すものである。現場で導入する際に、特筆出来ることは、使う試薬量が少ないため、実験に伴う事故が軽減でき、実験廃棄物を極少で抑えられることである。現在、初等・中等教育現場で行われている実験はスケールが大きいことが多く、廃棄薬品の問題は無視できない。そのため、実験を行わずに説明だけで済ませてしまうことも多いという声を聞く。しかし、生徒が自ら手を動かし実験をすることは理科教育の基盤である。マイクロスケール実験は実験結果を生徒が素早く確認することができるとともに、実験スケールが小さいため、適切な教材キットあるいは教材マニュアルさえできれば、多くの教師が容易に導入できると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、1)新規機能型イオン液体の合成、特に**磁性イオン液体**に注目して合成研究を行い、2)イオン液体を含めたさまざまな教材の**マイクロスケール化**を行って**小中高の現場で展開**ができるように工夫し、ひいては環境に優しい化学実験教材の提示手法を確立、3)更に開発した教材を国内外のワークショップ(WS)や出張授業にて**広報活動や研修事業に展開**して、化学に対する**啓蒙活動**を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究を推進することによって得られる効果は以下のことなどが期待できる。

学術効果

新規イオン液体を合成することにより、学部学生及び中・高等学校教員を対象に行うインターネットを用いた世界初の科学実験の日米同時教育実践への試みである。マイクロスケール実験は、中等教育で行われる科学の導入から最先端のナノテクノロジーや、分子生物学への掛け渡しをする技術手法である。

教育的効果

学部学生及び中・高等学校教員の科学に対する基礎的技術の向上並びにインターネッ

トを用いた交流事業を通じて科学や国際交流に関する効果的な意識改革が見込める。

社会的効果

成果は、地域貢献事業としてサイエンス展で公開する。地域貢献が出来るとともに、日本・米国など、外国の教育システムを相互に紹介することにより交流事業の推進も図ることが出来る。

溶媒は化学反応の要であり、合成反応の場で様々な有機溶媒が用いられている。しかし有機溶媒はその特性上、揮発性、可燃性であるものが多い。もし、不揮発性で難燃性の有機溶媒があればその有用性は大きい。イオン液体は、まさにそのような不揮発性、難燃性を示し、しかもユニークな溶解性を示す液体である。このため、グリーンケミストリーを始め、さまざまな観点から活発に研究され、現在では、単なる溶媒を超えた機能性材料としても注目されている。

申請者は、有機合成化学者としての立場からイオン液体を活用し、「イオン液体を活用した新規液晶分子の合成研究」を行ってきた。そして、イオン液体を活用して、新規トリフルオロメチルアルカノールの合成ならびにジフルオロシクロプロパンを含む液晶分子の合成を達成してきた。液晶合成では、溶媒としての性質に着目していたが、イオン液体の物理化学的性質が明らかになるにつれて、イオン液体そのものがもつ機能性材料としての有用性を生かしたいと思い、本研究では、**磁性イオン液体**に着目した。1980年代にはまだ磁性を持つ液体は理論的に存在しないとされており、(例えば、物理学最前線 23, P55, 共立出版 1989年)フェライトなどの微粒子を水やケロシンなどの母液に分散させた懸濁液である磁性流体しか知られていなかった。新しい物質である磁性イオン液体は、**磁性流体とイオン液体の性質を併せ持ち**、イオン対が連続した液体であり、その特性を生かし、医療・新素材の分野など様々な応用が期待されている。また、児童生徒のサイエンスに対する興味を喚起するため、イオン液体を紹介したいと考えた。室温で液体状態を示す塩を意味する「イオン液体」という用語が、

2004年に初めてイオン液体研究会で定義されてから今日までイオン液体の合成、機能性等に関する学術的報告は多数に登る。しかし、まだ教育的研究は日本ではほとんどなされておらず、外国でも例えば平成18年5月アメリカ-アトランタで開かれたACS meetingで、Ionic Liquids and Educationというセッションが開かれたが化学教育に関する報告例はまだわずかである。本研究グループであれば、最先端の研究成果を踏まえ、児童生徒に興味を持たせるポイントを押さえながら教材を合成し、我々の視点で地域貢献活動や研修活動に応用できると考えた。

4. 研究成果

申請者らは近年、鉄(III)イオンを含む磁性イオン液体(トリスクロロエチルスルホナト鉄(III)酸1-ブチル-3-メチルイミダゾリウム, [emim][FeCl₃EtSO₄])の合成に成功し、それは高スピンFe(III)の $S = 5/2$ から予想される値よりもかなり大きな磁気モーメントを持つことを見出した。この値は現在市販されているイオン液体(J. Chem. Soc. Dalton Trans. 1993, 2639, Bull. Chem. Soc. Jpn., 2005, 78, 1921)よりも、強磁性を示している(室温 $\chi_{\text{eff}} = (8\text{ T})^{1/2} = 6.41\chi_{\text{B}}$)。ICP, UVの測定結果より、その機能発現にアニオン部分の立体構造が影響を及ぼしていることが示唆され、種々検討を行っている。少量で磁石に強く引き寄せられるということは、教材開発をする上で重要な特性の一つである。そこで、本申請研究では、さらなる優れた特性を有する**新規磁性イオン液体の合成**を行った。その結果、[DEMomA][FeCl₄]を初めとする、より強い磁気特性を持つ磁性イオン液体を数種合成することに成功した。

あわせて、実践研究に展開した。特に、**マイクロスケール化**に着目した教材開発し、公開した。教材化に関しては、以前から展開している共同研究を継続し、欧米のマイクロスケール研究成果も活用して、**既に日本で行われている実験をより効率的にマイクロスケール化**を行って小中高の現場で展開ができるように工夫した。マイクロスケール化は、新学習指導要領解説にも掲載されており、21世紀の化学教育に欠かせない。また、地元教育委員会と連携してイオン液体とマイクロスケール実験教材開発を用い、イオン液体実験を小中高の教員が容易に実施できるようなプログラムを作成した。特にイオン液体を教材に用いたマイクロスケール実験はすべて先行事例のない活動である。3年間、日本国内でサイエンス展を5件、海外展開および、国際ワークショップを実施した。

本研究の特色・独創的な点及び予想される

結果と意義

「イオン」に関する教育内容は、先行の学習指導要領では高等学校で学習することになっており、高等学校で化学を学習しなかった現在の大学3年生から高等学校1年生は、イオンの概念を学習する機会に恵まれることなく今日に至っている。これまでも高等学校での出張事業や、教員研修を通じて、イオン液体を日本で先駆けて紹介することにより、興味を引く素材であることの強い手応えを感じている。今までにない新しい物質の扉を開くイオン液体の化学は、その不思議さから、高校生や大学生、高校生を育てる教員の物質の不思議や化学への興味を喚起することが期待でき、環境に負荷を与えないイオン液体は格好の教材であり、マイクロスケール実験を取り入れ、環境に留意したモデル研修プログラムを提案した。また、最先端の研究成果を、直接小中高の児童生徒や教員に効果的に紹介するとともに広く一般に公開する先例を示すことにより、今日、化学分野で強く求められている**化学の面白さを効果的に一般に提示するモデルケース(啓蒙活動)**になったと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕

1. 中学生の理科に対する意識調査の日中比較研究、香川大学教育学部研究報告第II部、61、2、113-119、2011
 2. 学部授業「理科授業研究」の成果「実験カード」のデータベース化と授業改善に向けた検討、香川大学教育学部研究報告第II部、62、1、21-32、2012、和文、査読無
 3. Preparation of Magnetic Ionic Liquids Composed of Hybrid-Type Anions、Australian Journal of Chemistry、65、11、1557-1560、2012
 4. 中学生の理科に対する意識調査の日中比較研究(2)(Consciousness survey to Science Education between Junior High School of Jiangxi Sheng and Kagawa Prefecture)、香川大学教育学部研究報告第II部、63、1、5-12、2013
 5. 遠隔ICTを活用した附属学校と学部の連携教育研究(A Collaborative Research of Primary and Higher Education Using Tele-communication Equipments)、香川大学教育実践総合研究、第26号、147-163、2013〔学会発表〕
1. イオン液体の実験(Experiment of Ionic Liquids)、マイクロスケールケミストリー第2回シンポジウム、マイクロスケールケミストリー第2回シンポジウム組織委員会、東北大学(2011年8月8-10日)、2011.08
 2. 新規機能性磁性イオン液体の合成とその応用研究(Synthesis and Application of nobel

magnetic ionic liquids) 第 46 回ヘテロ原子化学セミナー、ヘテロ原子化学セミナー実行委員会、あいお荘 山口市秋穂東 768-13 (2011 年 9 月 1-3 日)

3. 新規磁性イオン液体を用いた環境調和型教材の応用研究 (Development of environmental-benign teaching material using ionic liquids;Magnetic Ionic Liquid) 第 11 回 G S C シンポジウム、G S C ネットワーク、早稲田大学 国際会議場(2011 年 6 月 1-4 日)、2011.06

4. DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT-BENIGN TEACHING MATERIAL USING IONIC LIQUIDS, The 14th Asian Chemical Congress 2011、International Organizing Committee of the 14th Asian Chemical Congress 2011、Bangkok, Thailand(Sep. 5-8, 2011)、2011.09

5. 地域貢献における化学教育-イオン液体実験を取り入れた実践事例研究 (Development of environmental-benign chemical education; applicatio of teaching material using Ionic Liquids) 日本化学会西日本大会、日本化学会九州支部・同中国四国支部、徳島大学 (2011 年 11 月 12-13 日)

5. 地域貢献における化学教育-サイエンスの視点を取り入れた実践事例研究 (Development of environmental-benign teaching material; application for science world) 第 92 回春季年会、日本化学会、慶応大学 (2012 年 3 月 25-28 日) 2012.03、

6. 新規磁性イオン液体の磁性と構造に関する研究 (Synthesis and Application of Novel Magnetic Ionic-liquids) 第 92 回春季年会、日本化学会、慶応大学 (2012 年 3 月 25-28 日) 2012.03

6. Simple Preparation of Various Types of Magnetic Ionic Liquids、The 4th International Congress on Ionic Liquids、Committee of The 4th International Congress on Ionic Liquids、Hilton Crystal City at Washington Reagan National, WASHINGTON DC, USA(June 14-21, 2011)、2011.06

7. 新規磁性イオン液体の合成研究 (Synthesis of Novel Magnetic Ionic-liquids using Various types Metal Ions) 第一回フッ素若手の会、フッ素若手の会組織委員会 (2011 年 7 月 31-8 月 2 日)

8. 新規機能性磁性イオン液体の合成 (Synthesis of nobel magnetic ionic liquids) 第 35 回フッ素化学討論会、日本フッ素化学会、札幌サンプラザ コンサートホール (2011 年 9 月 26-27 日) 2011.09、

9. Chemo-enzymatic Synthesis of Efficient Chiral Building Blocks Using Rare Sugars、国際希少糖学会第 5 回国際シンポジウム、国

際希少糖学会、かがわ国際会議場(2011 年 11 月 9-12 日)

10. イオン液体を用いた光学活性トリフルオロメチルアルコール合成における緩衝液の添加効果 (The Additive Effect of a Phosphate Buffer as Co-solvent for the Efficient Kinetic Resolution of 1,1,1-Trifluoro-2-alkanol

by Lipase-catalyzed Reaction in an Ionic Liquid Solvent System) 第 15 回生体触媒化学シンポジウム、生体触媒化学研究会、慶応大学、芝、東京、2011 年 12 月 21-22 日

11. 地域貢献における化学教育-オープンキャンパス事業に関する実践事例研究 (Development of environmental-benign teaching material; application for open campus) 第 92 回春季年会、日本化学会、慶応大学 (2012 年 3 月 25-28 日)

12. 地域貢献における化学教育-SSH 事業に関する実践事例研究 (Development of environmental-benign teaching material; application for open campus) 第 92 回春季年会、日本化学会、慶応大学 (2012 年 3 月 25-28 日)

13. Creation of A Sustainable Inter-Cultural Exchange Program - Consideration of the CSU-KU International Program, 4th KU-CMU Joint Symposium 2012、4th KU-CMU Joint Symposium Organizing Committee、Kagawa, Japan(Sep. 19-21, 2012)、2012.09、

14. 新規磁性イオン液体の磁性と構造に関する研究 (Synthesis and Structural Application of Novel Magnetic Ionic-liquids) 第 93 回春季年会、日本化学会、立命館大学 (2012 年 3 月 22-25 日) 1B433A

15. 地域貢献における化学教育-化学展における実践事例研究 (Development of environmental-benign teaching material; application for science world) 第 93 回春季年会、日本化学会、立命館大学 (2012 年 3 月 22-25 日) 2G2-29、2013.03

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 由美子 (TAKAGI YUMIKO)

香川大学・教育学部・准教授

研究者番号: 50263413

(2) 連携研究者

荻野和子 (KAZUKO OGINO)

東北大学・東北大学・大学院医学系研究科・名誉教授

研究者番号: 40004353